



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
 НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
**ТИТАН-ОПТИМА**  
 (ООО НПП «Титан-Оптима»)

ОГРН 1095047012664  
 ИНН 5047111266,  
 КПП 504701001  
 Тел: (495) 724-8760  
 Моб.тел: (985) 154-9069  
 E-mail: npp@titan-optima.com  
 npp@titan-optima.ru  
 npp@титан-оптима.рф  
 Сайт: titan-optima.com  
 titan-optima.ru  
 титан-оптима.рф

Юр. и факт. адрес: 141407, Московская область, г.Химки, Юбилейный пр-т, д. 40, кв.213

**ОСВ**

**12-0177/2022 25.05.2022 года**

## ***Уважаемые пользователи программного обеспечения «Волна», разработанного ООО НПП «Титан-Оптима»!***

Организации, которые являются Лицензиатами или планируют использовать программный продукт (ПП) «Волна» при согласовании проектов в надзорных органах сталкиваются с проблемой правомерности применения этой программы, а не программой рекламируемой РусГидро (АО «НИИЭС») «SV\_1» или иных других программ решаемых задачи в области прогнозирования последствий при разрушении ГТС.

И мы вынуждены дать обоснованный утвердительный ответ - Да, применение данной программы является правомерным в случаях решения задач оперативного прогнозирования при разрушении ГТС.

В основе разработки программного продукта (ПП) лежит Методика [Методика оперативного прогнозирования инженерных последствий прорыва гидроузлов. М.: ВНИИ Гочс, 1997 г. Основание: этап 3 НИР No ВИ-59701- 3.4.1.4 "Заря-97-3.4.1.4." Техническая библиотека ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), инв. 1686], описание математического аппарата которой приведено в Инструкции к программе: ссылка на материалы страницы нашего корпоративного сайта здесь <http://www.titan-optima.ru/instr/pdf/Volna.pdf>.

Что касается правомерности применения Методики, то эта методика относится к оперативным и имеет допущение в сторону превышения результатов оценки до 300%. Данное требование предъявляется ко всем инженерным задачам данного (оперативного) класса. Математическая точность в задачах такого класса сводится к соблюдению паритета между точностью сбора исходных данных для расчета, временем расчета и возможностью увеличения точности посредством ряда последовательных итерационных вычислений.

Данная программа по вышеуказанным показателям отвечает указанным требованиям.

В обновленных версиях, в частности 21.0 и выше, нами реализована возможность назначения неограниченного количество створов. Ранее в версии 14.0 их количество было ограничено 10-ти. Увеличение количество створов существенно повышает точность расчета при извилистых руслах и с изменениями глубин и ширины реки в бытовом потоке.

Несколько слов о подходах, заложенных в данную Методику.

Методика явилась результатом работы советских инженеров в период с 1949 по 1959 года, основной научный коллектив которых трудился в стенках Военно-инженерной академии, где была для этого создана кафедра №15 «Гидротехнических сооружений». Её появление связано с оценкой возможных зон катастрофического затопления в случае разрушений ГТС при применении вероятным противником ядерного оружия. Эта задача была успешно решена. Там же на кафедре был построен опытный лоток, позволяющий осуществлять натурные испытания различных пробелей рек, оценивать шероховатость дна и

Исполнил:

Директор центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и моделирования катастроф (ЦМПЧС и К) к. т. н., доцент **Чурбанов О.И. (495)724-8760**

получать прочие коэффициенты, которые вошли в основу и других последующих программ и Методик, какую бы точность не пытались добиться их разработчики. В основе настоящей Методики положены известные уравнения Сен-Венана - система уравнений, качественно описывающая распространение флуктуаций глубины и эффективной (средней по сечению) скорости потока в мелководных руслах с трансляционной инвариантностью (то есть продольно-однородных). Течение жидкости характеризуется усредненной по поперечному сечению потока скоростью  $u$ , а толщина слоя жидкости - усредненной глубиной  $h$ . В простейшем случае уравнение Сен-Венана записывается в виде системы двух дифференциальных уравнений.

$$\dot{u} = -uu' - \frac{g}{c^2} \cdot \frac{u^2}{h} + gj - gh'$$

$$\dot{h} + hu' + uh'$$

В этих уравнениях точка дифференцирует по времени, а штрих - по продольной координате вдоль русла. Считается что переменные  $u$  и  $h$  выражаются функциями от этих двух переменных. Величины, появляющиеся в этом уравнении, имеют следующий смысл:  $u$  - усредненная скорость потока  $h$  - толщина слоя жидкости  $g$  - ускорение свободного падения  $j$  - уклон русла

$c$  - феноменологическая константа, определяющая квадратичное трение (Коэффициент Шези)

$K$  - пропускная способность русла.

Обычно считают, что  $u > 0$ .

Именно эта конструкция и лежит в математическом аппарате Методики и реализованной на ее основе ПП «Волна».

Что касается якобы альтернативных подходов к расчетам от их нет - математическая основа одна, разные возможности компьютерного моделирования.

Так, с конца 50-х годов в связи с развитием вычислительной техники в России стали появляться высококлассные вычислители - гидродинамики и гидравлики: В. В. Беликов, О. М. Белоцерковский, С. М. Белоцерковский, О. Ф. Васильев, А. Ф. Воеводин, М. Т. Гладышев, С. К. Годунов, А. А. Дородницын, Б. Л. Историк, В. И. Климович, В. М. Лятхер, А. Н. Милитеев, А. В. Мишуев, А. М. Прудовский, В. Я. Шкадов, С. Я. Школьников, С. М. Шугрин и другие. Можно говорить о возникновении нескольких научных школ вычислителей - гидравликов: школы Института Гидродинамики СО РАН, школы вычислительного Центра РАН, школы НИС Гидропроекта.

НИИЭС безусловно является одной из организаций-пионеров в области численного моделирования прорывных волн. В этой организации накоплен богатый опыт гидродинамических исследований, имеется ряд методик прогноза аварий и программ, позволяющих проводить соответствующие численные эксперименты. Достоверность результатов подтверждена расчетами многочисленных тестовых задач и реальных объектов гидротехники.

Выходцами школы НИИЭС являются два крупнейших специалиста, занимающимися в настоящее время моделированием сложных процессов гидравлики открытых потоков: Беликов В. В. и Школьников С. Я.

Программа «SV\_1», разработанная С. Я. Школьниковым базируется на использовании одномерных и двумерных (в зависимости от решаемой задачи) та тех же самых уравнений Сен-Венана для русел непризматической формы, численно реализованные при помощи явной конечно-разностной схемы А. Н. Милитеева, адаптированной для течений в руслах сложной формы.

В 2004 году на базе ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) были произведены тестовые

Исполнил:

Директор центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и моделирования катастроф (ЦМПЧС и К) к. т. н., доцент Чурбанов О.И. (495)724-8760

испытания двух программ «SV\_1» (представлял РусГидро, с 2009 года АО «НИИЭС») и программы «Волна», которую представляла Военно-инженерная академия (а именно кафедра №15 и научно-исследовательская лаборатория факультета ГО). В результате выдаче исходных данных программа «Волна через 10 минут выдала расчет, по данным которого через 20 минут была нанесена прогнозируемая зона катастрофического затопления и оценены параметры волны прорыва. Программа «SV\_1» справилась с расчетами только на следующий день, а исходные данные вводились более 5 часов. Результат сравнения всех удивил - разница в оценке не превышала 25% по ряду показателей, которая после второй итерации расчетов по ПП «Волна (время на расчет и нанесение обстановки не превысило 30 минут) была снижена до 10 - 12%.

Эти показатели соответствовали сравнению размеров зоны катастрофического затопления местности, а по показателям волны прорыва (высоты и времени добегания фронта, гребня и хвоста) расхождения отсутствовали и были соизмеримы с точностью округлений.

Хочется, надеется, что участники данного эксперимента со стороны АО «НИИЭС» (РусГидро) помнят об этом.

Удивительного в данном эксперименте сравнения ничего нет, ибо сравнение было не математического аппарата (не инструментария), а автоматизации процесса вычислений: иначе лицом к лицу столкнулись логарифмическая линейка и компьютер. Построение конечно-разностных уравнений в программе «SV\_1» за один расчет может с успехом замениться итерационными расчетами по ПП «Волна» (в каждом расчете может задаваться до 10 створов, а в версиях 12.0 и выше – количество створов ограничено только производительностью ЭВМ и может быть задано 100 и более).

Очевидно, компьютерное моделирование дает возможность выдавать долгосрочные и краткосрочные прогнозы прохождения паводковых вод и волн прорыва, устанавливать границы затопляемых территорий, глубину затоплений, скорости течения и уровни воды в районах ответственных объектов, подверженных затоплению, определять параметры необходимых берегозащитных сооружений и многое другое, а также производить экономическую оценку последствий прохождения паводков и волн прорыва при разработке противопаводочных мероприятий и страховых ответственностей за последствия.

В АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» разработан программный комплекс (РД 153-34.2-002-01), позволяющий рассчитать параметры волны прорыва и зону возможного затопления с учетом размыва грунта вдоль трассы движения потока при различных сценариях аварий на гидротехнических сооружениях. Для каждого сценария аварий создается карта возможного затопления с указанием глубины потока. Вблизи наиболее важных объектов определяется изменение скорости и глубины потока во времени, а также их максимальные значения.

Во ВНИИ ГОЧС разработана методика оперативного прогнозирования инженерных последствий прорыва плотин гидроузлов. Компьютерная программа позволяет установить параметры затопления местности - максимальную глубину и ширину затопления, время прихода волны прорыва, максимальные отметки затопления и др. Эти характеристики варьируют в зависимости от параметров разрушения гидроузла - степени повреждения плотины, размеров прорыва, высоты его порога, которые задаются заранее заказчиком прогноза.

То есть все известные нам методы установления последствий волны прорыва являются решением инженерных задач и предназначены для оперативного прогнозирования.

При проектировании ряда крупных гидроузлов на территории бывшего СССР Институтом Гидропроект в свое время были рассчитаны площади

Исполнил:

Директор центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и моделирования катастроф (ЦМПЧС и К) к. т. н., доцент *Чурбанов О.И.* (495)724-8760

возможных затоплений от прорывной волны при гипотетическом разрушении плотин. Расчеты исходили в основном из решения уравнений гидравлики и в конечном итоге, имели целью установление на крупномасштабных картах границ возможных затоплений. Оценивался и вероятный ущерб. Однако напомним, что экологические и экономические последствия оценивались проектирующими организациями с позиций того времени, когда создавались гидросооружения. В то же время, если подобные расчеты проводились 10 и более лет тому назад, они должны быть повторены в связи с изменением условий освоения территорий и форм собственности различных объектов и земель в нижних бьефах гидроузлов. Возможны и изменения природной обстановки, гидрологических условий, сейсмических воздействий и т.д.

С выходом Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений), утверждённой приказом от 10 декабря 2020 года №516 разработчиками программы «Волна» выполнены решения к переходу от гибридной модели к двухмерной (плановой) модели, что позволяет оценить зону затопления и гидродинамические параметры потока:

- максимальные значения глубины и скорости потока в зоне затопления;
  - время от начала аварии до прихода в данную точку местности прорывной волны;
  - продолжительность затопления;
  - границы зоны затопления;
  - гидрографы разлива и график падения уровня воды со стороны верхнего бьефа.
- Построение изодат глубины, скорости потока в зоне затопления и времени затопления (осушения поймы) позволяет произвести оценку ожидаемого вреда при авариях на ГТС:
- без прорыва напорного фронта;
  - с прорывом напорного фронта в результате образования прорана или бреши.

Разработчиками программы решены инженерные задачи по вводу и корректировке введенных ранее отметок высот для пойменного русла реки в любом количестве (ранее в версиях 14.0 и ниже было только три отметки высот). Это существенно повышает точность расчёта.

С использованием полученных данных на карту (план, схему) наносятся граница области затопления, а также изолинии (изодаты) четырех характеристик прорывного паводка, используемых при расчете размера вероятного вреда: максимальных за время аварии глубины и скорости, времени затопления местности после начала аварии ГТС и продолжительности затопления.

Настройка изодат осуществляется пользователем самостоятельно с таким шагом, чтобы анализ объектов инфраструктуры и места проживания населения в границе зоны затопления соответствовал качественной оценке шкал Методики ОРВ тяжести уровней сильных, средних и слабых разрушений для жилых (прил.№4), промышленных зданий (прил.№5) и элементов транспорта и связи (прил.№6).

По полученным изодатам глубин, скорости ВП и времени затопления производится оценка вероятного вреда для каждого объекта инфраструктуры. Оценка тяжести людских потерь в зоне затопления данная оценка производится по агрессивности воздействия для жилых зданий. Оценка границы зоны катастрофических разрушений (прил.№3) определяется отсутствием времени для эвакуации людей и принимается, что аварийному воздействию подвергается 100% людей, попавших в зону затопления. В верхнем бьефе ГТС возвратные и безвозвратные потери людей не определяются, а в нижнем бьефе ГТС оценка числа погибших и пострадавших не производится, если люди, находящиеся в зоне затопления, в которой время добегания ВП превышает 24 часа. Считается, что эти люди могут быть полностью эвакуированы.

В зонах сильных, средних и слабых разрушений (определяется как для

Исполнил:

Директор центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и моделирования катастроф (ЦМПЧС и К) к. т. н., доцент *Чурбанов О.И.* (495)724-8760

критериев жилых зданий – прил.№4), когда эвакуация людей производится частично, принимается, что воздействию подвергается 75% людей, попавших в зону затопления.

Площади зон разрушений и тяжести людских потерь оцениваются по результатам расчетов параметров ВП для рассматриваемого сценария аварии ГТС с учетом указанных критериев (прил.№4 – 6) по изодатам, полученных для каждого створа и соединенных для левого и правого берега соответственно линиями.

Таким образом, пользователи программы «Волна» версии 21.0 и выше получают исключительно достоверный инструментарий для оценки ущербов при авариях на ГТС, позволяющий осуществить прогнозирование возможной гибели людей в пойменном русле реки, оценить временные характеристики проведения мероприятий по защите населения (оповещение и эвакуацией) и объектов инфраструктуры и инженерными мероприятиями (возведение дамб).

В заключении проектным организациям, осуществляющим исследования в области безопасности ГТС и оценки ущербов рекомендуется к использованию программы «Волна», которая в версиях выше 21.0 полностью соответствует требованиям Методики определения размера вреда (приказ РТН от 10 декабря 2020 года №516) и отвечает требованиям решения Президиума Экспертного союза (Союз организаций, осуществляющих экспертную деятельность в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, промышленной, пожарной и экологической безопасности) от 30 января 2008г. в котором в решениях задач по прогнозированию последствий аварий гидротехнических сооружений (раздел Б.5., ссылка на документ <http://www.r-e-s.ru/72a>) указаны следующие рекомендованные методики:

1. РД 09-391-00. Методика расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий.
2. РД 153-34.0-002-01. Временная методика оценки ущерба вследствие аварии гидротехнических сооружений.
3. РД 03-607-03. Методические рекомендации по расчету развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов.
4. Методика оперативного прогнозирования инженерных последствий прорыва гидроузлов. -М.: ВНИИ ГОЧС, 1997.

С уважением,  
Генеральный директор



Л.М. Домрачева



Исполнил:

Директор центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и моделирования катастроф (ЦМПЧС и К) к. т. н., доцент **Чурбанов О.И.** (495)724-8760